

PRIORITY DOCUMENT
 SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
 COMPLIANCE WITH
 RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 23 DEC 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
 einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 40 133.0

Anmeldetag: 30. August 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum Äquivalenz-
 vergleich digitaler Schaltungen

IPC: G 06 F 17/50

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
 sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 3. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
 Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY



Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zum Äquivalenzvergleich digitaler Schaltungen

5

10

15

20

30

35

Beim Entwurf von digitalen Schaltungen ist in den letzten Jahren der Äquivalenzvergleich zur Standardmethode geworden, um die Korrektheit von Verarbeitungsschritten nachzuweisen. Bevor der eigentliche Äquivalenzvergleich durchgeführt werden kann, müssen jedoch Signalpfadkennzeichner in verschiedenen Schaltungsbeschreibungen gemäß einem zweiten Beschreibungsformat einander zugeordnet werden, wobei die Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat durch Konvertierung einer Schaltungsbeschreibung (1) gemäß einem ersten Beschreibungsformat erzeugt worden sind und das erste Beschreibungsformat eine höhere Abstraktionsebene aufweist als das zweite Beschreibungsformat. Bei dieser Konvertierung können nachteiligerweise Signalpfadkennzeichner derart verändert werden, dass eine Zuordnung der Signalpfadkennzeichner zweier Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat, die unterschiedliche Zwischenschritte durchlaufen haben, nicht mehr möglich ist. Erfindungsgemäß ist daher vorgesehen, Zuordnungsinformationen zur Zuordnung von Signalpfadkennzeichnern von Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat auch in Abhängigkeit der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat zu erzeugen, aus der die Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat durch Konvertierung entstanden sind. Weiterhin können die Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat aus der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat derart erzeugt werden, dass der Informationsgehalt in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner nicht geringer wird, so dass die Zuordnung der Signalpfadkennzeichner in einem Äquivalenzvergleich (6) erleichtert wird.

(Fig. 1)

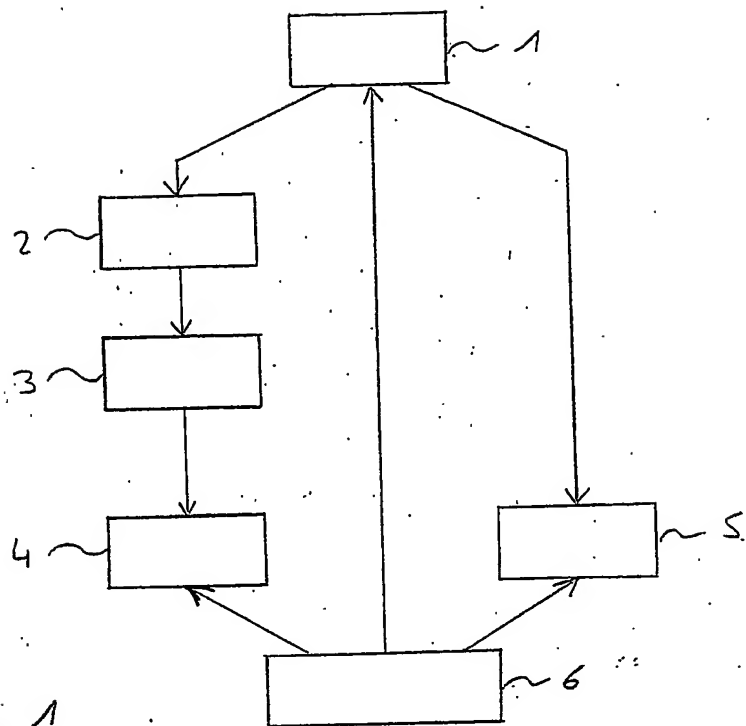


Fig. 1

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Äquivalenzvergleich digitaler Schaltungen

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung von Zuordnungsinformationen für Signalpfadkennzeichner in Schaltungsbeschreibungen zur Beschreibung digitaler Schaltungen gemäß unterschiedlicher Beschreibungssformate. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung ein digitales Speichermedium mit Steuersignalen zur Ausführung der erfindungsgemäßen Verfahren auf einer Datenverarbeitungseinrichtung.

10

15 Die Validierung einzelner Entwurfsschritte durch Simulationsverfahren stößt beim Entwurf digitaler Schaltungen deutlich an ihre Grenzen. Heutige ASICs können aus mehreren Millionen Gattern bestehen, so dass durch die ständig zunehmende Komplexität der Entwürfe bei gleichzeitig angestrebten verringerten Entwicklungszeiten der Umfang der durchgeführten Simulationsläufe zur Sicherung der erforderlichen Qualität nicht mehr ausreicht. Selbst durch Simulationsläufe, die sich über Tage und Wochen erstrecken, kann nur ein Bruchteil der Abdeckung erreicht werden. Neben dem Laufzeitproblem stößt die klassische Simulation noch an anderen Stellen an ihre Grenzen. So werden durch zufällige Simulationsstimuli (Random Pattern Simulation) im Allgemeinen nicht alle schwierigen Situationen, sog. Corner Cases, abgedeckt. Ein weiteres Problem, das sich im unmittelbaren Anschluss an die Entdeckung eines Fehlers ergibt, ist die Korrektur. Auch hier liefert die Simulation wenig Hilfe in Bezug auf die Lokalisierung der Fehler in der Beschreibung. Bei der Fehlerentdeckung wird zwar der Effekt sichtbar, der Grund für das falsche Verhalten folgt jedoch nicht unmittelbar daraus. Bei komplexen Entwürfen kommt der Diagnose des Fehlerorts jedoch eine immer größere Bedeutung zu, da es schwerfällt, den gesamten Entwurf zu überblicken.

20

30

35

Im Gegensatz zu den klassischen Simulationsverfahren bietet sich die formale Verifikation an, d.h. die automatische Durchführung mathematischer Beweise, um zwei digitale Schaltungen miteinander zu vergleichen. Der Äquivalenzvergleich auf der Basis formaler Methoden bietet im Gegensatz zu der Simulation zahlreiche Vorteile. So liefert der Äquivalenzvergleich ein Resultat, das mit einer vollständigen Simulation gleichzusetzen ist, d.h. eine Simulation aller Eingabewerte. Diese erschöpfende Simulation ist mit klassischen Methoden aus Komplexitätsgründen nicht zu erreichen. Noch dazu wird dies mit sehr geringen Laufzeiten und Speicherplatzverbrauch erzielt. In den vergangenen Jahren sind daher mehrere kommerzielle Werkzeuge entwickelt worden, wie beispielsweise die Werkzeuge GateCOMP, FormalPro und Formality.

Diese bekannten Verfahren zum Äquivalenzvergleich verwenden Schaltungsbeschreibungen digitaler Schaltungen auf einer niedrigen Abstraktionsebene. Im Lauf der Entwicklung einer digitalen Schaltung beginnt der Entwurf zunächst auf einer hohen Abstraktionsebene, um den beteiligten Personen das Verständnis zu erleichtern. Um die zu entwerfende digitale Schaltung letztendlich herstellen zu können, wird die Schaltungsbeschreibung in ein Format niedrigerer Abstraktionsebene konvertiert, um geeignete Eingabedaten für den Herstellungsprozess zu besitzen. Dabei wird die Beschreibung der digitalen Schaltung auf eine niedrigere Abstraktionsebene gebracht, die zwar für den Herstellungsprozess bessere Ausgangsbedingungen liefert, aber schwerer lesbar ist.

Eine Schaltungsbeschreibung gemäß einem Beschreibungsformat einer hohen Abstraktionsebene kann beispielsweise der Registertransferebene entsprechen, in der beispielsweise auch das Verhalten der Schaltung und die Zusammengehörigkeit verschiedener Signale ersichtlich sind. Eine derartige Schaltungsbeschreibung kann zur Verringerung der Abstraktionsebene in eine Netzliste konvertiert werden, in der die Verschaltung einzelner Gatter bzw. Funktionselemente hinterlegt ist, in der

aber für die beteiligten Personen das Verständnis erschwert ist.

Im Verlauf der Konvertierung einer Schaltungsbeschreibung auf einer hohen Abstraktionsebene zu Beginn des Entwurfs zu einer Schaltungsbeschreibung auf einer niedrigeren Abstraktionsebene werden zusätzliche Modifikationen an der digitalen Schaltung ausgeführt. Diese können beispielsweise die Optimierung zur Testbarkeit der resultierenden digitalen Schaltung oder eine Optimierung der Signallaufzeiten sein. Darüber hinaus müssen oft gegen Ende des Entwurfsprozesses noch Änderungen an der digitalen Schaltung vorgenommen werden, die dann aber an der Schaltungsbeschreibung auf der niedrigeren Abstraktionsebene durchgeführt werden, so dass die Korrektheit der vorgenommenen Änderungen auf Grund der niedrigeren Abstraktionsebene schwerer zu kontrollieren ist.

Am Ende des Entwicklungsvorgangs besitzt man nun eine Schaltungsbeschreibung der digitalen Schaltung auf einer niedrigen Abstraktionsebene, wobei im Verlauf der Entwicklung Änderungen vorgenommen wurden, die geprüft werden sollen. Dabei wird die ursprüngliche Schaltungsbeschreibung auf der hohen Abstraktionsebene direkt ohne Vornahme der Modifikationen auf eine niedrige Abstraktionsebene konvertiert, um eine Vergleichsbeschreibung auf niedriger Abstraktionsebene zu erhalten. Diese Vergleichsbeschreibung wird einem Äquivalenzvergleich mit der am Ende des Entwicklungsvorgangs erhaltenen Schaltungsbeschreibung unterzogen, um die Modifikationen zu testen. Der Äquivalenzvergleich findet insbesondere auf der Basis von Signalpfaden innerhalb der digitalen Schaltung statt, denen Signalpfadkennzeichner zugeordnet werden. Für einen ordnungsgemäßen Äquivalenzvergleich ist somit die genaue Zuordnung der Signalpfadkennzeichner erforderlich. Bei der Konvertierung in eine niedrigere Abstraktionsebene jedoch werden in der Regel die Signalpfadkennzeichner verändert, so dass auf Grund der im Entwicklungsprozess vorgenommenen Modifikationen die erzeugte Schaltungsbeschreibung auf der niedrigen Abstraktionsebene andere Signalpfadkennzeichner verwenden.

det als die Vergleichsbeschreibung. In diesem Fall müssen nachteiligerweise per Hand die entsprechenden Zuordnungen geschaffen werden, um den Äquivalenzvergleich durchführen zu können, welches aufwendig ist und unter Umständen sogar unmöglich ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein System zur Erleichterung der Zuordnung von Signalpfaden in Schaltungsbeschreibungen einer niedrigen Abstraktionsebene zu schaffen.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. 10, bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 7 bzw. 14 bzw. ein digitales Speichermedium mit den Merkmalen des Anspruchs 9 bzw. 16 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

Erfindungsgemäß werden zur Herstellung der Zuordnungen der Signalpfadkennzeichner aus zwei unterschiedlichen Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat auch wenigstens zum Teil Informationen der Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat herangezogen, aus der die Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat durch Konvertierung erzeugt wurden. Diese Informationen können dazu verwendet werden, Änderungen der Signalpfadkennzeichner einzelner Signalpfade nachzuvollziehen und Zuordnungen zu schaffen. Insbesondere in Fällen von höheren Datentypen, wie beispielsweise Records, die mehrere Signalpfade umfassen, können so die Signalpfade besser zugeordnet werden. So kann beispielsweise eine Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat Signalpfadgruppenkennzeichner umfassen, die eine Gruppe von Signalpfaden bezeichnet. Diese Gruppe von Signalpfaden kann wiederum in Untergruppen mit eigenen Gruppenkennzeichnungen unterteilt sein. Bei der Konvertierung der Schaltungsbeschreibung in das zweite Beschreibungsformat kann es dabei vorkommen, dass die Signalpfade, die von dem Signalgruppenkennzeichner erfasst wurden, alle

die Bezeichnung des Signalpfadgruppenkennzeichners zuzüglich eines Indexes erhalten. Anhand des Indexes alleine ist unter keinen Umständen mehr ersichtlich, welche Unterbezeichnung ein bestimmter Signalpfad besessen hat oder welcher Untergruppe ein bestimmter Signalpfad angehört hat.

Das erste Beschreibungsformat speichert die digitale Schaltung vorzugsweise in einer Schaltungsbeschreibung gemäß der Registertransferebene. Das zweite Beschreibungsformat kann vorteilhafterweise das Netzlistenformat sein.

Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzeugten Zuordnungsinformationen können als eigene Liste erzeugt werden, die von einem Verfahren bzw. einer Vorrichtung zur Durchführung des Äquivalenzvergleichs herangezogen wird. Ebenso können die Zuordnungsinformationen bereits dort erzeugt werden, wo der Äquivalenzvergleich selbst durchgeführt wird. So kann eine Vorrichtung bzw. ein Verfahren zur Durchführung des Äquivalenzvergleichs die Erzeugung der Zuordnungsinformationen bereits umfassen, so dass in diesem Fall der Äquivalenzvergleich zwischen zwei Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat durchgeführt wird.

Auf dem Weg der Schaltungsbeschreibung einer digitalen Schaltung gemäß dem ersten Beschreibungsformat zu einer Schaltungsbeschreibung der digitalen Schaltung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat können u.U. zahlreiche Schaltungsbeschreibungen entstehen, die unterschiedliche Beschreibungsformate unterschiedlicher Abstraktionsebenen besitzen können. Für die Durchführung der Erfindung ist es unerheblich, ob bei der Erzeugung der Zuordnungsinformationen eine Schaltungsanordnung gemäß der höchsten auftretenden Abstraktionsebene herangezogen wird oder eine Schaltungsbeschreibung einer darunterliegenden Abstraktionsebene, solange eine Schaltungsbeschreibung gemäß einem Beschreibungsformat auf einer Abstraktionsebene herangezogen wird, die über der Abstraktionsebene

der Schaltungsbeschreibungen des zweiten Beschreibungsformats liegt, zwischen denen letztendlich der Äquivalenzvergleich durchgeführt wird.

- 5 Ebenso können auch mehrere Schaltungsbeschreibungen auf höheren Abstraktionsebenen herangezogen werden.

Die vorliegende Erfindung kann von nur zu diesem Zweck eingerichteten Vorrichtungen oder von allgemein verwendbaren, programmierbaren Vorrichtungen durchgeführt werden. In letzterem Fall kann die Vorrichtung ein Personal Computer, eine Datenverarbeitungsanlage, eine Workstation oder eine andere programmierbare Vorrichtung sein, wobei in diesem Fall die Erfindung auch einen Datenträger umfasst, der entsprechend eingerichtete Steuersignale aufweist, die derart eingerichtet sind, dass sie im Zusammenwirken mit einer Datenverarbeitungsanlage die erfindungsgemäßen Verfahren durchführen. Dazu muss die Datenverarbeitungsanlage von den Steuersignalen auf den Datenträger gesteuert werden, wozu die Datenverarbeitungsanlage vorzugsweise eine Einrichtung zum Auslesen der Steuersignale vom Datenträger aufweist.

Die Zuordnung von Signalpfadkennzeichnern wird auch als Matching bezeichnet. Bei einem Beispiel liegt die erste Schaltungsbeschreibung in dem VHDL-Format vor, das die digitale Schaltung auf der Registertransferebene speichert. Das zweite Beschreibungsformat entspricht dem GAT-Format und stellt ein Netzlistenformat dar.

- 30 Die Übersetzung von VHDL in das GAT-Format erfolgt in Form der Zwischenstufen in mehreren Phasen. Zunächst wird die VHDL-Beschreibung eingelesen und in interne Datenstrukturen repräsentiert (Parsing). Aus dieser Repräsentation werden die Signale extrahiert. Zu jedem Signal werden die entsprechenden Zuweisungen analysiert und die jeweiligen Übergangsfunktionen berechnet. Für manche Signale werden speichernde Elemente (Flipflops) erzeugt, während die restlichen einfach verbunden werden können. Anschließend werden die Signale in einzelne

Bits zerlegt. Entsprechend werden Namen für die einzelnen Bits ausgehend von den Signalname generiert. Zum Schluss folgen noch einige Reduktionen auf Bit-Ebene, wie das Entfernen von Flipflops, die nach dem Übergang zur Bit-Ebene nicht mehr benötigt werden.

Gemäß der erfindungsgemäßen Lösung wird dabei folgendermaßen vorgegangen; stellen verschieden Signale die gleiche Funktion dar und werden deshalb durch die gleichen Flipflops repräsentiert, so bekommt dieses Flipflop eine Liste von Namen zugewiesen (statt bisher einem einzigen Namen). Falls notwendig, kann die Liste in einen Haupt- und mehrere Nebennamen aufgeteilt werden. Bei der Zerlegung von Signalen in einzelne Bits werden auf die gleiche Weise zusätzlich zu dem Hauptnamen Nebennamen generiert. Werden komplizierte Datentypen verwendet, so können entweder mögliche Nebennamen generiert werden oder ein Verweis auf die Stelle im jeweiligen Datentyp eingefügt werden. Insgesamt ist die Erzeugung der Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat unter Beibehaltung des Informationsgehalts in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner nicht wesentlich aufwendiger als die gemäß dem Stand der Technik durchgeführte Konvertierung, da die Berechnung der Übergangsfunktionen wesentlich mehr Zeit und Platz benötigen als die Generierung der Signalnamen. Durch die Verwendung zusätzlicher Informationen aus einer höheren Abstraktionsebene können namensbasierte Verfahren somit einen Ansatz bilden, der auch in schwierigen Fällen eine Lösung bestimmen kann.

Im vorgenannten Fall, in dem der zum verbesserten Matching benötigte Informationsgehalt der Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat bei der Konvertierung in Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat beibehalten wurde, kann der Äquivalenzvergleich auch nur in Abhängigkeit der Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat durchgeführt werden, da die Schaltungsbeschreibungen gemäß dem zweiten Beschreibungsformat ausreichenden Informationsgehalt aufweisen.

Die vorliegende Erfindung kommt auch in einem Verfahren bzw. einer Vorrichtung zum Erzeugen einer digital gespeicherten Schaltungsbeschreibung zum Tragen, wobei erfindungsgemäß die erzeugte Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat sich auf einer niedrigeren Abstraktionsebene als eine Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat befindet, aus dem die Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat erzeugt worden ist. Dieser Vorgang, der allg. auch als Konvertierung bezeichnet werden kann, führt zu einer Veränderung der Signalpfadkennzeichner, wobei erfindungsgemäß der Informationsgehalt der Signalpfadkennzeichner nicht abnimmt. Auf diese Weise wird erreicht, dass zum einen das Abstraktionsniveau verringert und die Schaltungsbeschreibung besser zur Einleitung der Produktion der digitalen Schaltung vorbereitet werden kann, und zum anderen verbesserte Ausgangsbedingungen für einen Äquivalenzvergleich geschaffen werden. Durch die Beibehaltung eines hohen Informationsgehalts in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner der Konvertierung der Schaltungsbeschreibung wird der nachfolgende Äquivalenzvergleich wesentlich vereinfacht.

Zur Beibehaltung des Informationsgehalts in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner können beispielsweise bei Auflösung von Signalpfadgruppenkennzeichnern den Signalpfaden der Gruppe Signalpfadkennzeichner zugeordnet werden, in denen sowohl die Bezeichnung der Signalpfadgruppenkennzeichnung als auch eine Unterbezeichnung des entsprechenden einzelnen Signalpfads bzw. der Signalpfaduntergruppe aufscheint.

Die Beibehaltung des ursprünglichen Informationsgehalts in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner kann auch dadurch erreicht werden, dass Änderungen der Signalpfadkennzeichnungen dokumentiert werden. Diese Änderungen können beispielsweise an geeigneter Stelle in der digital gespeicherten Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat als Änderungen gespeichert sein, so dass die Programme entweder zur Erzeugung von Zuordnungsinformationen oder gleich zur Durchführung des Äquivalenzvergleichs an dieser Stelle auf die

vorgenommenen Änderungen zugreifen und diese bei der Zuordnung von Signalpfaden berücksichtigen können.

Unabhängig davon können Hinweise auf zusammengehörige Signalpfade erzeugt und mit der Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat gespeichert werden, wobei die zusammengehörigen Signalpfade in der Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat als zusammengehörig gekennzeichnet waren und diese Kennzeichnung bei der Erzeugung der Schaltungsbeschreibung gemäß dem zweiten Beschreibungsformat in der unmittelbaren Signalpfadkennzeichnung verlorengegangen ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert.

Figur 1 zeigt schematisch die Erzeugung verschiedener Schaltungsbeschreibungen und mit abschließendem Äquivalenzvergleich gemäß dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, und

Figur 2 zeigt schematisch die Erzeugung verschiedener Schaltungsbeschreibungen mit abschließendem Äquivalenzvergleich gemäß dem Stand der Technik.

Vor der Beschreibung des Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung wird in Figur 2 die Vorgehensweise nach dem Stand der Technik beschrieben. Ausgehend von einer ersten Schaltungsbeschreibung 1 gemäß einem ersten Beschreibungsformat soll die darin beschriebene digitale Schaltung in eine vierte Schaltungsbeschreibung konvertiert werden, die gemäß einem zweiten Beschreibungsformat die digitale Schaltung speichert. Die vierte Schaltungsbeschreibung 4 besitzt den Vorteil, dass sie besser als Grundlage für die Herstellung der digitalen Schaltung geeignet ist. Nachteiligerweise jedoch wird gemäß dem zweiten Beschreibungsformat die digitale Schaltung auf einer niedrigeren Abstraktionsebene als gemäß

dem ersten Beschreibungsformat gespeichert, so dass die vierte Schaltungsbeschreibung 4 für die beteiligten Personen schwerer verständlich ist. In dem Entwicklungsfortgang von der ersten Schaltungsbeschreibung 1 bis zur vierten Schaltungsbeschreibung 4 werden weitere Zwischenstadien durchlaufen, in denen beispielsweise zu Zwecken der Testbarkeit, der Beobachtbarkeit oder einfach nur auf Grund erst zum Schluss bekannt gewordener Änderungsvorgaben Modifikationen an der Schaltung vorgenommen werden. Diese Zwischenstufen werden von der zweiten Schaltungsbeschreibung 2 bzw. der dritten Schaltungsbeschreibung 3 dargestellt. Die bis zu der vierten Schaltungsbeschreibung 4 vorgenommenen Modifikationen werden zwar benötigt, sollen jedoch die Grundfunktion der von der ersten Schaltungsbeschreibung 1 gespeicherten digitalen Schaltung nicht verändern.

Um festzustellen, ob und welche Änderungen der Funktion der digitalen Schaltung zwischen der ersten Schaltungsbeschreibung 1 und der letztendlich erhaltenen vierten Schaltungsbeschreibung 4 aufgetreten sind, wird ein Äquivalenzvergleich durchgeführt. Bei diesem Äquivalenzvergleich, der von einem als Block 6 dargestellten Programm durchgeführt wird, wird von zwei Schaltungsbeschreibungen 4, 5 gemäß dem zweiten Beschreibungsformat durch Anwendung mathematischer Methoden bzw. Beweise die Äquivalenz festgestellt oder werden Änderungen aufgedeckt.

Dazu wird aus der ersten Schaltungsbeschreibung 1 gemäß dem ersten Beschreibungsformat eine fünfte Schaltungsbeschreibung 5 gemäß dem zweiten Beschreibungsformat erzeugt, wobei die auf dem Weg zur Erzeugung der vierten Schaltungsbeschreibung 4 vorgenommenen Modifikationen nicht durchgeführt werden. Die vierte und die fünfte Schaltungsbeschreibung 4, 5 müssen bei korrekt vorgenommenen Modifikationen an den Zwischenstufen der zweiten bzw. dritten Schaltungsbeschreibung 3, 4 demnach grundsätzlich die gleiche Funktion aufweisen. Der Äquivalenzvergleich 6 vergleicht daher die Äquivalenz zwischen der vierten Schaltungsbeschreibung 4 und der fünften Schaltungs-

beschreibung 5. Auf Grund der unterschiedlichen Entstehungsgeschichte können jedoch Signalpfadkennzeichner in der vierten Schaltungsbeschreibung 4 und in der fünften Schaltungsbeschreibung 5 variieren, obwohl sie sich auf die gleichen Signalpfade beziehen.

In Figur 1 ist die schematische Darstellung der Vorgehensweise nach dem erfindungsgemäßen System dargestellt. Wie zuvor in Verbindung mit dem beschriebenen Stand der Technik dient als Ausgangspunkt eine erste Schaltungsbeschreibung 1 einer digitalen Schaltung. Über die Zwischenstufen einer zweiten Schaltungsbeschreibung 2 und einer dritten Schaltungsbeschreibung 3 wird eine vierte Schaltungsbeschreibung 4 gemäß dem zweiten Beschreibungsformat erzeugt, wohingegen die erste Schaltungsbeschreibung gemäß dem ersten Beschreibungsformat war. Gemäß dem zweiten Beschreibungsformat werden digitale Schaltungen auf einer niedrigeren Abstraktionsebene gespeichert als gemäß dem ersten Beschreibungsformat. Die vierte Schaltungsbeschreibung 4 gemäß dem zweiten Beschreibungsformat ist allerdings besser dazu geeignet, die Voraussetzung der Herstellung der digitalen Schaltung zu schaffen. Ebenso wie im Entwicklungsprozess gemäß dem Stand der Technik werden die Modifikationen in Verbindung mit der zweiten Schaltungsbeschreibung 2 und der dritten Schaltungsbeschreibung 3 nicht zur grundsätzlichen Veränderung der Funktion der digitalen Schaltung, sondern zur besseren Testbarkeit und/oder Beobachtbarkeit oder einfach nur auf Grund kurzfristig geplanter Änderungen durchgeführt.

Zur Durchführung des Äquivalenzvergleichs wird wiederum direkt aus der ersten Schaltungsbeschreibung 1 eine fünfte Schaltungsbeschreibung 5 gemäß dem zweiten Beschreibungsformat erzeugt, wobei die auf dem Weg zur Erzeugung der vierten Schaltungsbeschreibung 4 vorgenommenen Modifikationen nicht vorgenommen werden.

Der Äquivalenzvergleich 6 greift nun sowohl auf die vierte Schaltungsbeschreibung 4 und die fünfte Schaltungsbeschrei-

5 bung 5 als auch auf die erste Schaltungsbeschreibung 1 gemäß dem ersten Beschreibungsformat zu. Der Äquivalenzvergleich 6 wertet in der ersten Schaltungsbeschreibung 1 insbesondere die Signalpfadkennzeichnung aus, um die Signalpfadkennzeichner in der vierten Schaltungsbeschreibung 4 und der fünften Schaltungsbeschreibung 5 besser zuordnen zu können.

10 Im Folgenden soll anhand exemplarischer Signalpfadkennzeichner aufgezeigt werden, wie für den Äquivalenzvergleich die Zuordnungsinformationen erzeugt werden.

Unter anderem umfasst die erste Schaltungsbeschreibung 1 im beschriebenen Beispiel einen Record folgender Definitionen:

```
15      TYPE IO_commonbus_t IS RECORD
        IO_adrval    : std_ulogic;                -- Adress/Command-Valid
        IO_dval      : std_ulogic;                -- Data-Valid
        IO_adbus     : std_ulogic_vector(31 DOWNTO 0); -- Daten/Adress-Bus
        flsg         : std_ulogic;                -- Fehler-Signal
    END RECORD;
```

20

Der vorgenannte Record beinhaltet somit 35 Einzelsignale, deren Signalpfadkennzeichner wie folgt lauten:

```
30      ioc_bus_sense_flg
        ioc_bus_sense_io_adbus(0)
        ioc_bus_sense_io_adbus(1)
        ioc_bus_sense_io_adbus(2)
        ioc_bus_sense_io_adbus(3)
        ioc_bus_sense_io_adbus(4)
        ioc_bus_sense_io_adbus(5)
        ioc_bus_sense_io_adbus(6)
        ioc_bus_sense_io_adbus(7)
        ioc_bus_sense_io_adbus(8)
        ioc_bus_sense_io_adbus(9)
        ioc_bus_sense_io_adbus(10)
        ioc_bus_sense_io_adbus(11)
        ioc_bus_sense_io_adbus(12)
        ioc_bus_sense_io_adbus(13)
        ioc_bus_sense_io_adbus(14)
        ioc_bus_sense_io_adbus(15)
        ioc_bus_sense_io_adbus(16)
        ioc_bus_sense_io_adbus(17)
        ioc_bus_sense_io_adbus(18)
        ioc_bus_sense_io_adbus(19)
        ioc_bus_sense_io_adbus(20)
        ioc_bus_sense_io_adbus(21)
        ioc_bus_sense_io_adbus(22)
```

35

ioc_bus_sense_io_adbus(23)
ioc_bus_sense_io_adbus(24)
ioc_bus_sense_io_adbus(25)
ioc_bus_sense_io_adbus(26)
5 ioc_bus_sense_io_adbus(27)
ioc_bus_sense_io_adbus(28)
ioc_bus_sense_io_adbus(29)
ioc_bus_sense_io_adbus(30)
ioc_bus_sense_io_adbus(31)
ioc_bus_sense_io_adrval
ioc_bus_sense_io_dval

10 Bei der Erzeugung der vierten bzw. fünften Schaltungsbe-
schreibung 4, 5 ist die Information des Records verlorengel-
gangen, so dass sich in diesen Schaltungsbeschreibungen gemäß
dem zweiten Beschreibungsformat nur die folgenden Signalpfad-
kennzeichner wiederfinden:

15 ioc_bus_sense[0]
ioc_bus_sense[1]
ioc_bus_sense[2]
ioc_bus_sense[3]
ioc_bus_sense[4]
ioc_bus_sense[5]
ioc_bus_sense[6]
20 ioc_bus_sense[7]
ioc_bus_sense[8]
ioc_bus_sense[9]
ioc_bus_sense[10]
ioc_bus_sense[11]
ioc_bus_sense[12]
ioc_bus_sense[13]
ioc_bus_sense[14]
ioc_bus_sense[15]
ioc_bus_sense[16]
ioc_bus_sense[17]
ioc_bus_sense[18]
ioc_bus_sense[19]
ioc_bus_sense[20]
ioc_bus_sense[21]
ioc_bus_sense[22]
30 ioc_bus_sense[23]
ioc_bus_sense[24]
ioc_bus_sense[25]
ioc_bus_sense[26]
ioc_bus_sense[27]
ioc_bus_sense[28]
ioc_bus_sense[29]
35 ioc_bus_sense[30]
ioc_bus_sense[31]
ioc_bus_sense[32]
ioc_bus_sense[33]
ioc_bus_sense[34]

Es handelt sich wiederum um 35 Signale, deren Signalpfadkennzeichner jedoch sich nur im Index unterscheiden und keine Zuordnung möglich ist.

5

Durch Berücksichtigung des Records ist jedoch ersichtlich, dass es sich um einen 32-Bit-Bus und 3 Steuersignale handeln muss.

- 10 Mit Hilfe dieser Informationen und ggf. der Reihenfolge des Auftretens der einzelnen Signalpfadkennzeichner und ggf. der Information über die Art und Weise, wie Signalpfadkennzeichner bei der Konvertierung aus dem ersten Beschreibungsformat in das zweite Beschreibungsformat verändert werden, können
- 15 bei dem Äquivalenzvergleich 6 die Signalpfadkennzeichner der vierten Schaltungsbeschreibung 4 und der fünften Schaltungsbeschreibung 5 einander zugeordnet werden.

- 20 Somit kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Systems das Matching und somit das Durchführen des Äquivalenzvergleichs wesentlich vereinfacht werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Zuordnungsinformationen zur Zuordnung von Signalpfadkennzeichnern von Signalpfaden von wenigstens zwei verschiedenen digital gespeicherten Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß einem zweiten Beschreibungsformat zur Beschreibung digitaler Schaltungen, wobei die wenigstens zwei Schaltungsbeschreibungen (4, 5) jeweils durch Konvertierung einer Schaltungsbeschreibung (1) gemäß einem ersten Beschreibungsformat erzeugt sind und die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner einen höheren Informationsgehalt aufweist als die Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zuordnungsinformationen in Abhängigkeit der wenigstens zwei Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat und in Abhängigkeit wenigstens eines Teils der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat erzeugt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste Beschreibungsformat eine Beschreibung auf der Register-Transfer-Ebene ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das zweite Beschreibungsformat ein Netzlistenformat ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zuordnungsinformation in Abhängigkeit von Signalpfadkennzeichnern erzeugt werden, die eine Mehrzahl von zusammengehörigen Signalpfaden kennzeichnen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass das zweite Beschreibungsformat digitale Schaltungen auf einer niedrigeren Abstraktionsebene speichert als das erste Beschreibungsformat.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zuordnungsinformationen digital gespeichert sind.
- 10 7. Vorrichtung zum Erzeugen von Zuordnungsinformationen zur
Zuordnung von Signalpfadkennzeichnern von Signalpfaden von
wenigstens zwei digital gespeicherten Schaltungsbeschreibungen
(4, 5) gemäß einem zweiten Beschreibungsformat zur Beschrei-
bung digitaler Schaltungen, wobei die wenigstens zwei Schal-
tungsbeschreibungen (4, 5) jeweils durch Konvertierung einer
15 Schaltungsbeschreibung (1) gemäß einem ersten Beschreibungs-
format erzeugt sind und die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß
dem ersten Beschreibungsformat in Bezug auf die Signalpfad-
kennzeichner einen höheren Informationsgehalt aufweist als
die Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Be-
20 schreibungsformat,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung Mittel zum Lesen der digital gespeicher-
ten Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten Be-
schreibungsformat und zum Lesen der Schaltungsbeschreibung
(1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat und Datenverarbei-
tungsmittel aufweist, wobei die Datenverarbeitungsmittel der-
art eingerichtet sind, dass sie in Abhängigkeit der wenigstens
zwei Schaltungsbeschreibungen (4, 5) gemäß dem zweiten
Beschreibungsformat und wenigstens eines Teils der Schal-
30 tungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat
die Zuordnungsinformation erzeugt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
35 dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach
einem der Ansprüche 1 bis 6 eingerichtet ist.

21

9. Digitales Speichermedium mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, die derart eingerichtet sind, dass sie mit einer programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung derart zusammenwirken können, dass die Datenverarbeitungseinrichtung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt.

10. Computer-Programm-Produkt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichertem Programmcode zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wenn der Programmcode auf einem Rechner abläuft oder in ihm verwendet wird.

11. Verfahren zum Erzeugen einer digital gespeicherten Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß einem zweiten Beschreibungsformat einer digitalen Schaltung aus einer Schaltungsbeschreibung (1) gemäß einem ersten Beschreibungsformat der digitalen Schaltung, wobei die Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat die digitale Schaltung auf einer niedrigeren Abstraktionsebene speichert als die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat und die Schaltungsbeschreibungen (1, 4, 5) gemäß den beiden Beschreibungsformaten jeweils Signalpfadkennzeichner von Signalpfaden der digitalen Schaltung umfassen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat derart erzeugt wird, dass sie in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner einen ebenso hohen Informationsgehalt wie die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat derart erzeugt wird, dass sie Informationen über Änderungen der Signalpfadkennzeichner der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat im Vergleich zu den Signalpfadkennzeichnern der erzeugten Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,

5 dass die Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat derart erzeugt wird, dass sie Signalpfadgruppenkennzeichner umfasst, die anzeigen, welche Signalpfade in der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat mit einer Gruppe bildenden Signalpfadkennzeichnern versehen sind.

10

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,

15 dass die Signalpfadgruppenkennzeichner in der Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat ein Hinweis auf die Signalpfadkennzeichner in der Schaltungsbeschreibung (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat sind, deren zugeordnete Signalpfade in der Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat als Gruppe einen einheitlichen Signalpfadkennzeichner aufweisen.

20

15. Vorrichtung zum Erzeugen einer digital gespeicherten Schaltungsbeschreibung (4, 5) einer digitalen Schaltung gemäß einem ersten Beschreibungsformat aus einer Schaltungsbeschreibung (1) gemäß einem ersten Beschreibungsformat der digitalen Schaltung, wobei die Schaltungsbeschreibung (4, 5)

gemäß dem zweiten Beschreibungsformat die digitale Schaltung in einer niedrigeren Abstraktionsebene speichert als die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat und die Schaltungsbeschreibungen (1, 4, 5) gemäß den beiden Beschreibungsformaten jeweils Signalpfadkennzeichner von Signalpfaden der digitalen Schaltung aufweisen,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung Mittel zum Lesen der digital gespeicherten Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat, Mittel zum Schreiben der Schaltungsbeschreibung

35 (4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat und Datenverarbeitungsmittel aufweist, wobei die Datenverarbeitungsmittel derart eingerichtet sind, dass sie die Schaltungsbeschreibung

(4, 5) gemäß dem zweiten Beschreibungsformat derart erzeugen, dass diese in Bezug auf die Signalpfadkennzeichner einen ebenso hohen Informationsgehalt wie die Schaltungsbeschreibung (1) gemäß dem ersten Beschreibungsformat aufweist.

5

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 14 eingerichtet ist.

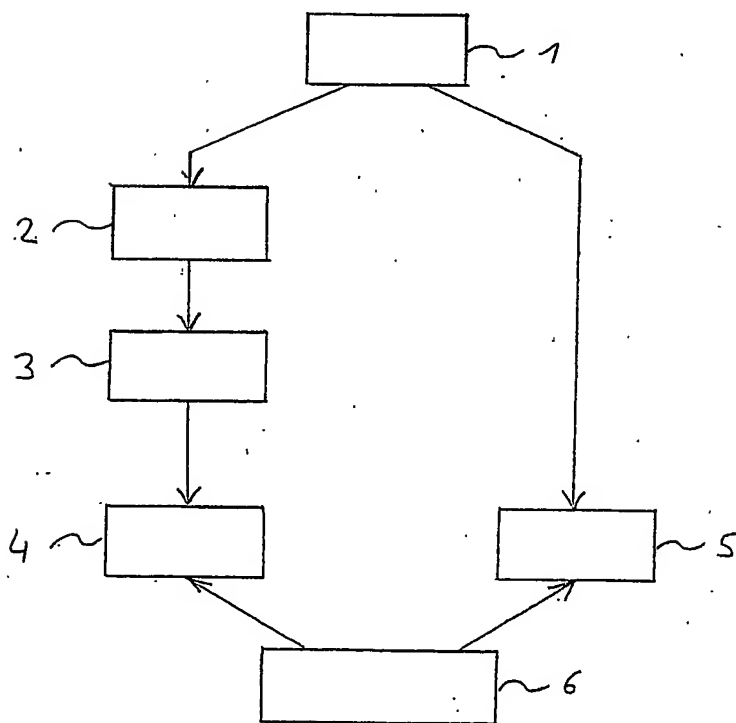
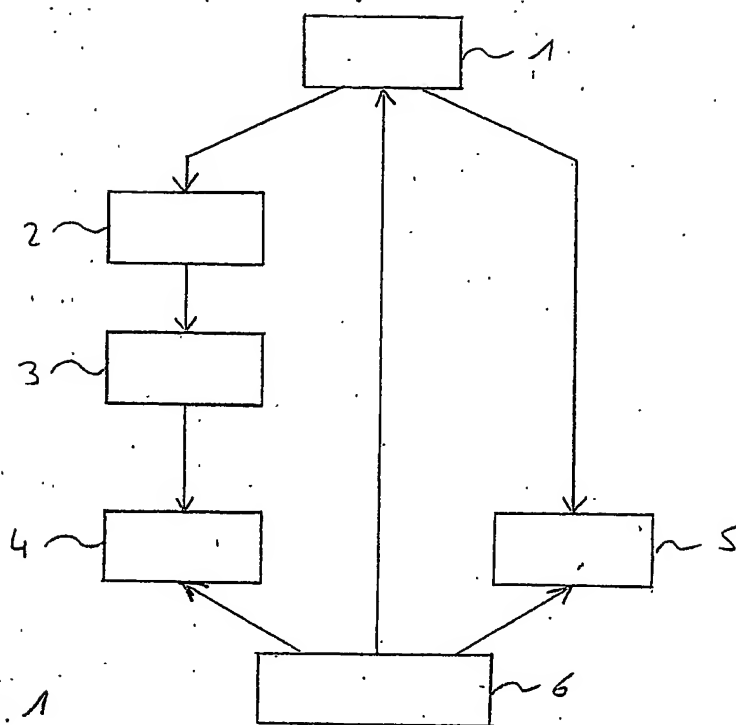
10

17. Digitales Speichermedium mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, die derart eingerichtet sind, dass sie mit einer programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung derart zusammenwirken können, dass die Datenverarbeitungseinrichtung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14 ausführt.

15

18. Computer-Programm-Produkt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichertem Programmcode zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wenn der Programmcode auf einem Rechner abläuft oder in ihm verwendet wird.

20



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.